

**С. В. Данилов**

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*s.v.danilov@bk.ru*

Научный руководитель – доц., д-р техн. наук *М. Л. Лобанов*

## ТЕКСТУРА ГОРЯЧЕКАТАНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

### АННОТАЦИЯ

Методом ориентационной микроскопии (EBSD) исследована текстура горячекатаных алюминиевых сплавов 6061 и 7050 по всей толщине подката. Показано, что текстура деформации как поверхностного, так и центрального слоев полосы, состоит из набора дискретных, стабильных ориентировок. Текстура поверхностного слоя, является развернутой на 90° вокруг поперечного направления, текстурой центрального слоя. Текстура рекристаллизации преимущественно состоит из тех же ориентировок, что и текстура деформации. Формирование подобного рода многокомпонентных текстур, может быть объяснено исходя из гипотезы, что подвижными в рекристаллизационных процессах являются специальные границы.

*Ключевые слова:* алюминиевые сплавы, горячая прокатка, рекристаллизация, текстура, ориентационная микроскопия, специальные границы.

### ABSTRACT

The method of orientation microscopy investigated the texture of hot rolled aluminum alloys 6061 and 7050 along the entire thickness of the substrate. It is shown that the deformation texture of both surface and central layers of the strip, consists of a set of discrete, stable orientations. The texture of the surface layer, is deployed at 90° around the transverse direction, the texture of the central layer. The recrystallization texture is mainly composed of the same orientations as the texture deformation. The formation of such multi-component textures, can be explained based on the hypothesis that moving in recrystallization processes are a special border.

*Key words:* aluminum alloys, hot rolling, recrystallization, texture, orientation microscopy, special boundaries.

Большинство технологий, по производству коммерческих деформируемых алюминиевых сплавов, включают в себя стадию горячей деформации, в процессе которой, помимо изменения геометрических размеров, формируется определенная текстура материала. Данное текстурное состояние, через механизм наследственности, оказывает существенное влияние на ориентационно-зависимые свойства готового

изделия. Вследствие этого, возникает задача получения взаимоувязанной информации об эволюции текстурного состояния в процессе деформации. Решению данной задачи способствуют появившиеся в последние годы современные методы ориентационной микроскопии, в частности Electron backscatter diffraction (EBSD), дающий возможность более детально проанализировать текстуру с точки зрения всех её компонент, как на микро, так и макро уровнях.

Причина возникновения текстуры, при прокатке, это деформация в стесненных условиях, вследствие скольжения дислокаций по системам, имеющим максимальный фактор Шмида. Реальная схема деформации при прокатке является достаточно сложной. Однако упрощенно, при горячей прокатке, в поверхностных слоях одноосное напряженное состояние сжатие в направлении нормали (НН) к плоскости листа, а в центральных слоях двухосное напряженное состояние – растяжение вдоль направления прокатки (НП) и сжатие по направлению нормали НН [1].

Температура горячей прокатки выше температуры начала рекристаллизации, следовательно, на формирование текстуры могут оказывать влияние не только процессы деформации, но и процессы рекристаллизации. В работе [2] показано, что связь между деформационными и рекристаллизационными ориентировками может быть представлена как строго кристаллографическая и, соответственно, описана через формирование специальных межзеренных границ.

Целью данной работы являлось исследование текстурного состояния алюминиевых сплавов после горячей прокатки с установлением взаимосвязи деформационных и рекристаллизационных ориентировок зерен и выявлением возможной роли специальных межзеренных границ в процессе структурного превращения.

Исследования проводили на образцах горячекатаного подката алюминиевых сплавов 6061 и 7050 после различной степени деформации ( $> 70\%$ ). Образцы вырезали из центральной по ширине области горячекатаных листов. Исследование текстуры проводилось с помощью растрового электронного микроскопа ZEISS Cross Beam AURIGA с приставкой EBSD HKL Inca и системой анализа Oxford Instruments. При анализе ориентировок в качестве лабораторной принята система координат, оси которой связаны с направлением прокатки ( $X \parallel НП$ ), нормалью к ее плоскости ( $Y \parallel НН$ ) и перпендикулярным им направлением ( $Z \parallel ПН$ ), которое совпадает с осью валков, так что все три направления образуют правую тройку векторов.

В результате текстурного анализа образцов, с помощью прямых полюсных фигур (ППФ), было установлено, что поверхностный слой (рис. 1, а) состоит из набора дискретных –  $\{010\}\langle 101\rangle$ ,  $\{112\}\langle 110\rangle$ ,  $\{111\}\langle 112\rangle$ ,  $\{111\}\langle 110\rangle$  и  $(100)[001]$ . В центральном слое подобная ситуация (рис. 1, б), но уже с другим набором дискретных ориентировок  $\{110\}\langle 001\rangle$ ,  $\{110\}\langle 112\rangle$ ,  $\{112\}\langle 111\rangle$ ,  $\{110\}\langle 111\rangle$  и  $(100)[001]$ . Поученные

основные ориентировки деформации горячекатаного алюминиевого сплава согласуются с результатами работы [3], текстура поверхностного слоя соответствует текстуре сдвига, а центрального текстуре холодной прокатки материала с ГЦК решеткой. Видно, что текстура поверхностного слоя, является развернутой на  $90^\circ$  вокруг поперечного направления (НП) текстурой центрального слоя полосы горячекатаного алюминия.

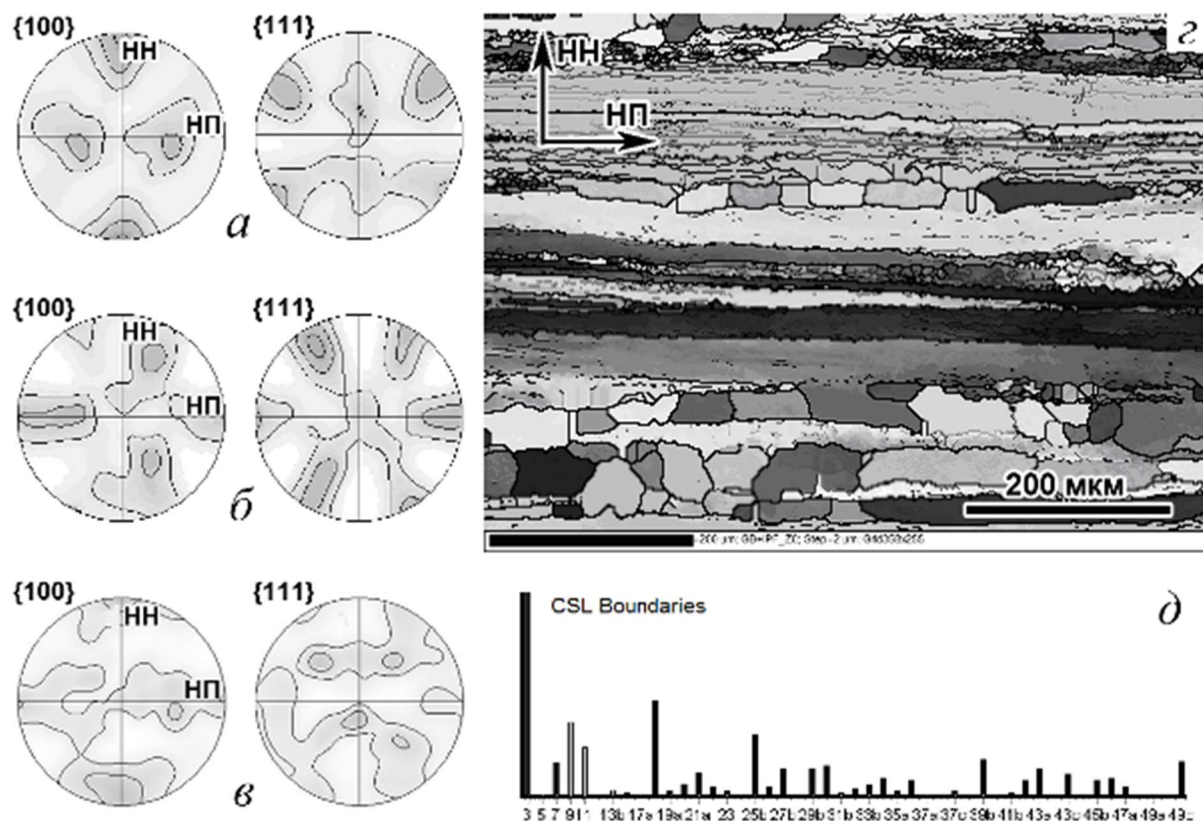


Рис. 1. Текстура горячекатаных алюминиевых сплавов: *а* – ППФ {100} и {111} поверхностного слоя; *б* – ППФ {100} и {111} центрального слоя; *в* – ППФ {100} и {111} рекристаллизованных зерен с области ориентационной карты «г»; *г* – ориентационная карта центрального слоя; *д* – частота распределения «специальных границ»

При анализе с помощью ориентационных карт (рис. 1, *г*) видно, что часть зерен, как в поверхностных, так и в центральных слоях имеют слегка вытянутую в НП равноосную форму, являющиеся результатом рекристаллизации. Преимущественно рекристаллизованные зерна имеют те же ориентировки, что и деформированные зерна. При этом изменяются ориентировки локальных областей. Особенно заметно, увеличение количества зерен с ориентировкой близкой к  $(100)[001]$  при рекристаллизации, что также подтверждается и в работах [4]. На ориентационной карте (рис. 1, *г*) видно, как протекал процесс рекристаллизации, а именно рекристаллизацию в пределах границ одного

или нескольких ранее деформированных зерен и так называемые «языки» рекристаллизации.

Формирование подобного рода сложных (многокомпонентных) текстур, где присутствуют как деформационные, так и рекристаллизационные ориентировки может быть объяснено исходя из гипотезы, что подвижными в рекристаллизационных процессах являются именно специальные межзеренные границы. Причем данные специальные границы (типов  $\Sigma 3a$ ,  $\Sigma 9$ ,  $\Sigma 11$  и т.д. [2]) наблюдались во всех исследуемых образцах горячекатаных алюминиевых сплавов. Увеличение количества зерен с ориентировкой близкой к  $(100)[001]$ , предполагается результатом преимущественного роста границ типа  $\Sigma 25b$  в материалах с ГЦК решеткой, которые также наблюдались в исследуемом материале.

*Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006 и в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект №11.1465.2014/К.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Теория образования текстур в металлах и сплавах / Я. Д. Вишняков [и др.] – М. : Наука, 1979. – 343 с.
2. Взаимосвязь ориентировок деформации и рекристаллизации при горячей прокатке электротехнической анизотропной стали / М. Л. Лобанов [и др.] // МиТОМ. – 2015. – № 8. – С. 44–49.
3. Hölscher M. Relationship Between Rolling Textures And Shear Textures In F.C.C. And B.C.C. Metals / M. Hölscher, D. Raabe, K. Lücke // Acta metall. 1994. – Vol. 42. – №. 3. – P. 879–886.
4. Cube texture in hot-rolled aluminum alloy 1050 (AA1050) – nucleation and growth behavior / H. A. Mohammed, S. W. Cheong, J. P. Suni, H. Weiland, A. D. Rollett // Acta materialia. – 2008. – Vol. 56. – P. 3098–3108.